侵食したビーチに隣接する地方港湾の設計事例

○宮永　和明[1]・○賀数　博一[1]　○比屋根　拓也[1]

[1](株)沖縄建設技研（沖縄県浦添市字前田１１２４番地）

キーワード： 港湾機能の向上、侵食対策、海浜変形計算、施設配置計画、流況調査

1.はじめに

A 島は、沖縄県本島北部の本部半島の沖に位置する人口 38 人、面積約 0.5 km^2 の小さな島である。写真-1 に示すように、上空から見ると島の形状がクロワッサンの形に見えることから「クロワッサンアイランド」の名前でも親しまれている。

写真-1　A 島の全景

A 島に位置する地方港湾の A 港は、定期船(86 総トン)が運航しており、沖縄本島から片道約 15 分と利便性がよい。定期船の年間船舶乗降人員は約 7 万人にも達し、県内有数の観光地である。旅客の大部分は写真-2 に示すように、港湾に隣接するビーチでの海水浴やマリンレジャーが目的である。

写真-2　A 島のビーチの利用状況

A 港の港湾施設は、写真-3 に示すように重力式の物揚場(-2.0m、L=30m)およびコンクリートブロックで被覆された傾斜式の防波堤(L=170m)や泊地(-2.0m)で形成されており、陸側には待合所がある。

また、隣接するビーチは、港湾とは所管が異なる海岸保全施設として、海浜の侵食防止を目的とした突堤(L=80m)と自然石を用いた人工リーフが整備されている。

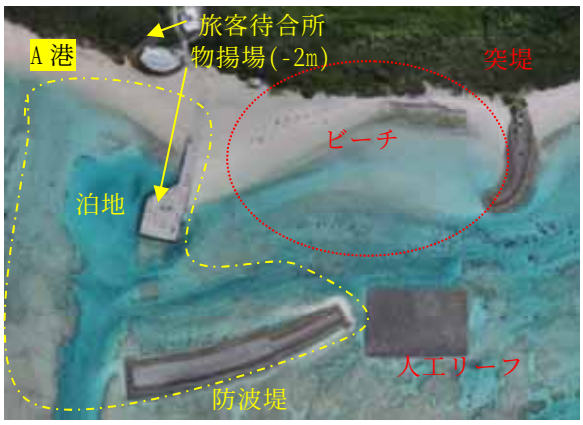

写真-3　A 港の全景

本報は、A 港の港湾機能の向上に向けた施設配置計画と隣接するビーチの侵食の改善を成立させた事例を紹介する。

2.現状と問題点

2.1 港湾施設の現状と問題点

係留施設は築 40 年以上が経過し、写真-4 に示すとおり老朽化が顕著である。

また写真-5 に示す定期船の乗降時には高低差が生じ、バリアフリー対策が求められていた。

さらに、外郭施設は築約 30 年の北側の防波堤のみであるため、港内の静穏度は低く、度々欠航が発生している状況にあった。

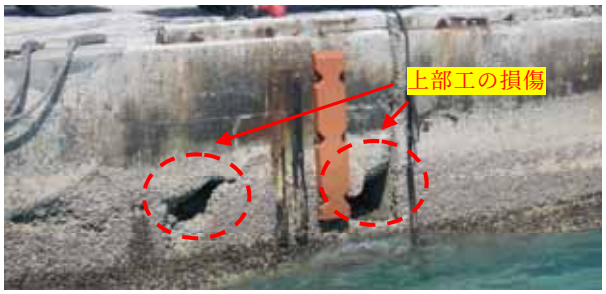

写真-4　係留施設(物揚場)の老朽化状況

写真-5　定期船乗降時の状況

以上から、A 港においては、施設の老朽化、バリアフリー化および港内の静穏度が問題点であり、浮桟橋の配置等の港湾機能の向上が求められていた。

2.2 港湾に隣接するビーチの現状と問題点

A 島の観光産業にとって重要なビーチは、A 港の整備後から徐々に侵食が進み、現在では写真-6 に示すようにビーチロックが呈するようになった。

そのため、突堤や人工リーフによる侵食対策が実施されていたが効果が得られず、ビーチとしての利用可能な範囲が狭くなり、島の観光産業に打撃を与えつつあった。

従って、ビーチでは砂浜の侵食が問題点であり、今後さらに海浜が侵食する事態は確実に回避しなければならない状況にあった。

写真-6　侵食された砂浜の状況

3.課題および解決の方向性

3.1 課題

A 港の港湾機能の向上とビーチの侵食改善は、A 島における住民生活の向上と観光業の発展という両輪の役目を果たす。

一方、港湾整備とビーチの侵食はトレードオフの関係にあり、港湾機能の向上と海岸侵食の防止の 2 つを如何に両立させ、A 島の地域経済の活性化へ貢献できるかが課題であった。

3.2 課題解決の方向性

課題を解決するため、計画した港湾施設配置が海浜へ与える影響を予測精度の高い手法で評価することが重要と考えた。

4.実施した解決策

課題を解決するために実施した具体的な内容を次に示す。

4.1 過去の整備履歴の整理(情報収集-1)

現地の情報収集として、過去の整備履歴を整理し、結果を表-1 に示す。また、1973 年から 2001 年までの 28 年間の空中写真を写真-7(1)～(5)に示す。

ここで、写真-7(2)は突堤形状の物揚場の整備が始まった際であり、付根部分で海浜が若干変形しているが現状に比べて大きな変化はない。

しかし、写真-7(3)の防波堤の整備以降では現在と同様な侵食傾向が伺える。

さらに、表-1 からも防波堤整備のわずか 5 年後から、ビーチの侵食を改善する突堤や人工リーフ等の整備が実施された経緯が把握できる。

表-1　A 港周辺における整備履歴

対象	整備時期(年)
物揚場・泊地	1976～1977
防波堤	1984～1988
突堤	1993
人工リーフ	1996～1998
浚渫・養浜	1993,2003,2004,2017

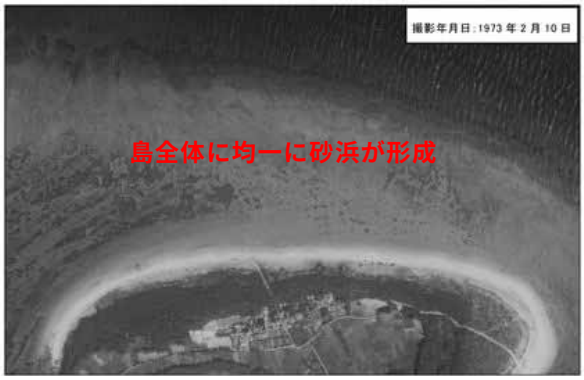

写真-7(1)1973 年 2 月の状況

写真-7(2)1977 年 11 月の状況

写真-7(3)1989 年 3 月の状況

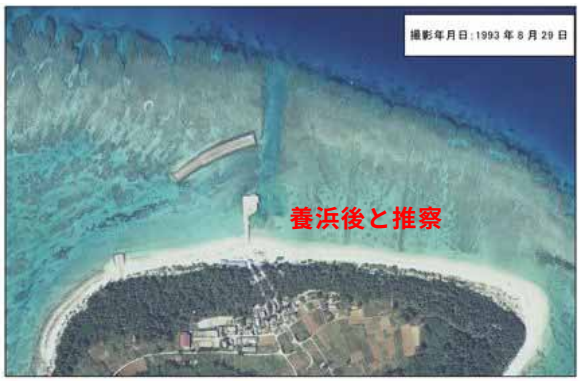

写真-7(4)1993 年 8 月の状況

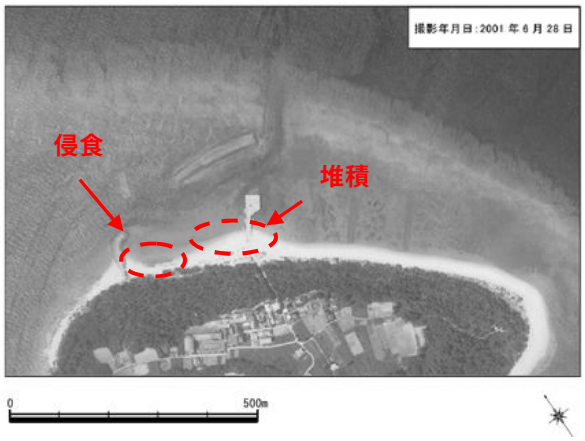

写真-7(5)2001 年 6 月の状況

4.2 現地の海浜流の観測(情報収集-2)

海浜変形の計算精度を担保するため、フロートと UAV を用いた流況調査を提案し、実施した。調査方法の概要は、写真-8 に示すように小型船を用いてフロートを一定間隔で投入し、UAV が上空にて漂流状況を記録する方法を実施した。

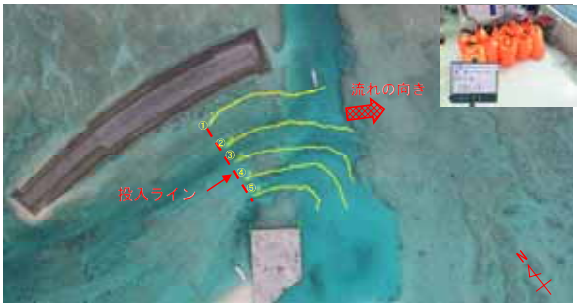

写真-8　ドローンによる観測状況

流況調査は、3 次元地形海浜計算モデルの構築に用いる目的で、上げ潮・下げ潮時の海浜流の特性を把握するために実施し、写真-9 に示すような結果が得られた。

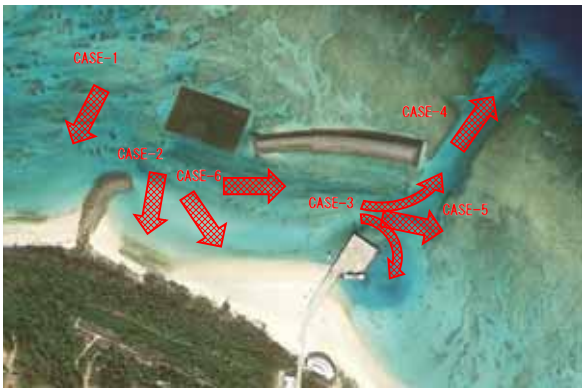

写真-9　流況調査の結果

4.3 海浜変化計算の精度向上対策

海浜変化の予測を行う方法として、一般的には汀線変化モデルとして 1-LINE(2 次元)を用いる場合が多く、長期的な汀線の予測に用いられる。

しかし、1-LINE モデルは一定方向のエネルギー平均波を用いた長期の汀線変化予測であるため、台風のような比較的短時間に強い波浪が作用し、構造物により複雑な流れが発生する現象を再現すること出来ない。

そのため、A 港の海浜侵食の特性を精度よく考慮するため、年数回の高波浪時において、構造物の配置により波浪や海浜流による地形変化が評価できる 3 次元海浜変形モデルを併用し、平面的な侵食・堆積の変化を評価することとした。

表-2 にこの 2 つモデルの特性を示す。

表-2　海浜変形モデルの概要

モデル	1-LINE	3 次元
目的	長期的な汀線予測	短期的な平面地形変化予測
適用範囲	数十年、数十 km	一時化～1 年、数 km
特徴	計算時間が比較的短い	計算時間が膨大

なお、3 次元海浜変化モデルは、流れの要素が計算精度に大きく影響する。そのため、現地で観測した流況調査時の沖波を用いて 3 次元海浜変化モデルの現況再現計算を実施した。写真-9 にて示した現地観測結果と図-1 に示す計算結果は、ほぼ同様の結果が得られ、計算の妥当性を確認した。

また、沖から防波堤を沿って港内を循環する流れを把握することができた。

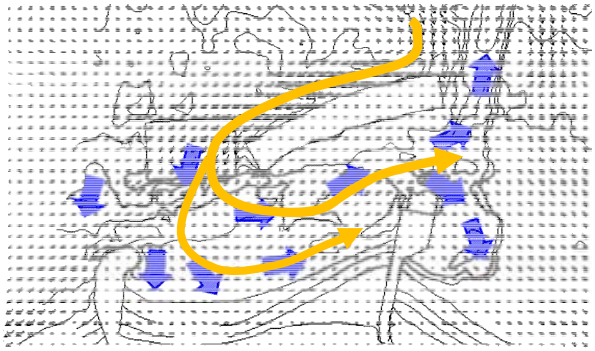

図-1　3 次元海浜変化モデルの結果

4.4 既存施設を有効利用した対策案の検討

A 港に必要な港湾施設として、浮桟橋の他、物揚場(-2.5m)や防波堤、泊地(-2.5m)があった。これらの施設配置を検討するに際しては、課題解決を念頭に、既存施設を有効利用した案を優先的に検討した。

図-2 に示す第 1 案は、新たな防波堤を 270m 整備しているものの、通常は $H_{1/3}$=1.0m を目安に整備する浮桟橋に対して、北側波浪の到達波浪が約 1.3m となることから浮桟橋の耐波性が懸念された。また、港湾西側の海浜が現状と同様に改善されない。

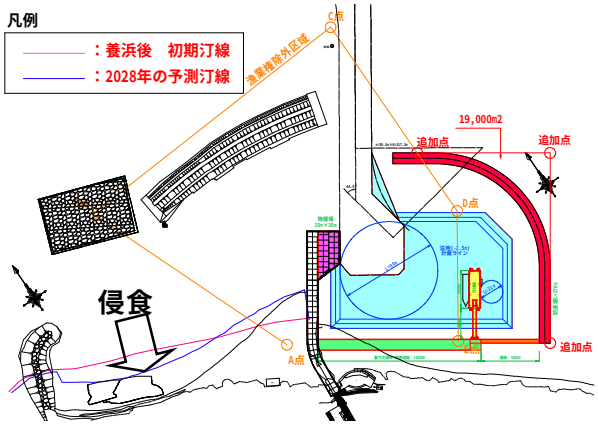

図-2　第 1 案　既存施設の活用案

そこで、第 2 案として静穏性の高い既設防波堤の背後に浮桟橋を整備し、さらに浮桟橋までの施設は桟橋構造とする案を検討した。この桟橋構造により、既設物揚場の

影響で遮断されていた海流交換が可能となり、港湾の機能向上と併せて、ビーチの汀線が均され、侵食が改善するのではないかとの考えから発案した。

しかし、図-3 に検討結果を示すとおり、汀線の侵食は改善せず、逆に桟橋下を通過する漂砂により泊地が 0.06m/年づつ堆積し、埋没される結果となった。

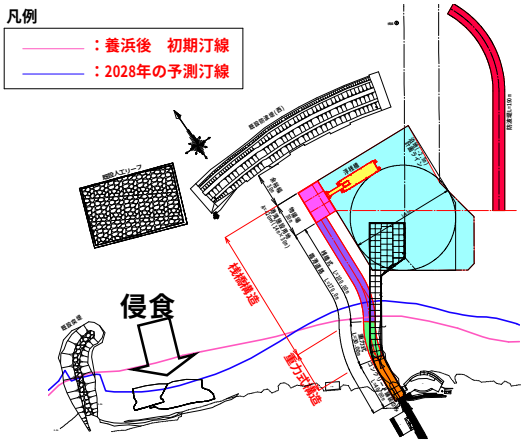

図-3　第 2 案　桟橋構造の適用

以上から、既設構造物を有効利用した配置計画の場合、ビーチの侵食が改善されない、または助長されてしまう恐れがあった。

4.5 海浜侵食の原因究明

既存施設の有効利用が困難であることから、新たな施設を展開する必要性が考えられ、そのためには、ビーチの侵食の原因究明が重要となった。

これまでに把握した、過去の整備履歴や流況調査を反映した 3 次元海浜変化モデルから、防波堤の建設後に大きく侵食が進んだ可能性が高いことが示唆されるため、既存の人工リーフ、突堤、防波堤の順序で構造物を整備する前の状況を再現した海浜シミュレーションにより、海浜の変化状況を定量的に評価した。

その結果、図-4 や図-5 では侵食の改善が見られないが、図-6 の防波堤の整備前の状況が最も砂浜が安定する結果となった。

以上から、ビーチの侵食を発生させた大きな要因が防波堤の整備であると特定でき、港湾機能の向上とビーチの侵食の改善のためには、特に既存の防波堤の再配置が必要と判断し、改めて施設配置を検討した。

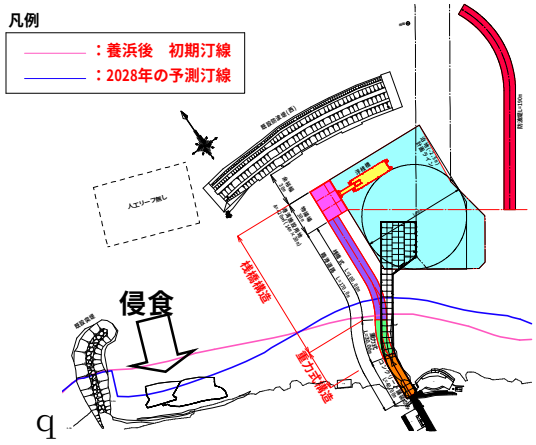

図-4　人工リーフの整備前

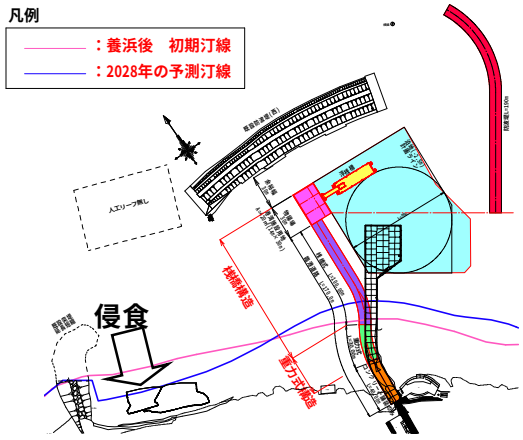

図-5　人工リーフ、突堤の整備前

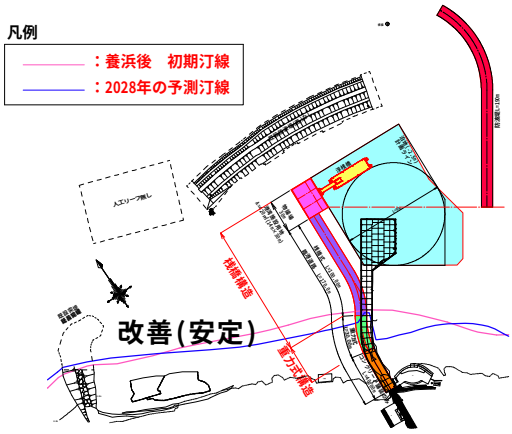

図-6　人工リーフ、突堤、防波堤の整備前

4.6 島全体を俯瞰した対策案の提案

これまでの検討で既存の防波堤の影響によって、ビーチの海浜侵食が発生している

ことが特定できた。しかしながら、港内静穏度を保つためには、防波堤は必要不可欠である。その結果、港湾と海岸はトレードオフの関係になっており、両者をバランスよく改善するためには、既存施設の利用にこだわらず、A 港を有する島全体から俯瞰して港湾を配置することが重要と考えた。

さらに、これまで整理した整備履歴から、写真-7(2)に示す物揚場のみが整備された時期は、海浜に大きな変化が見られなかったことから、既設防波堤を撤去し、島の中央に出来るだけコンパクトな港湾を再構築すれば港湾施設の左右の海浜が平衡に均されるのではないかと考え、図-7 に示す港湾の再編案を第 3 案として提案した。

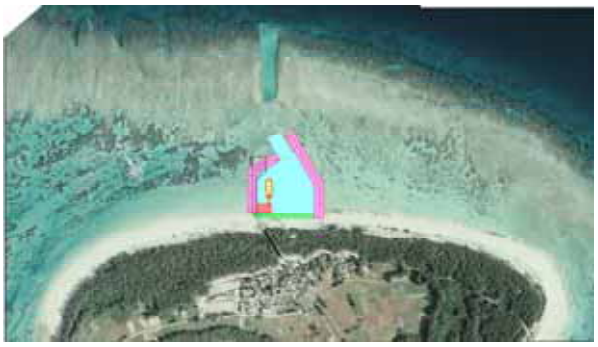

図-7　第 3 案　港湾の再編案

図-8 に第 3 案の 1-LINE での海浜変形計算の結果を示す。侵食した汀線は養浜後に安定した形状を保つことができる結果が得られた。また、3 次元海浜モデルの計算結果は図-9 に示すとおり、海底地盤の起伏によって部分的な侵食や堆積が生じるものの、波高 4m 程度の高波浪によっても海底地形の変化はわずかであり、再編した A 港内の泊地の漂砂による堆積厚も年間 0.01m/年と微量であった。

以上の検討結果から、これまでは既存施設の利用を中心に考えた施設配置を改め、島の中心に新たな港を必要最小限のコンパクトに再編することで、港湾機能の向上を図るとともに、A 島の重要な観光資源であるビーチの侵食改善にも寄与することが出来た。

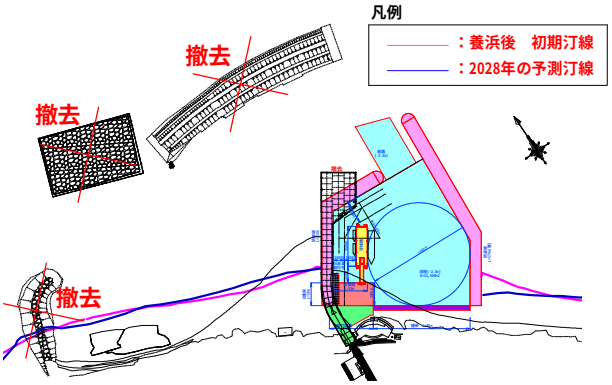

図-8　第 3 案　A 港の再編案

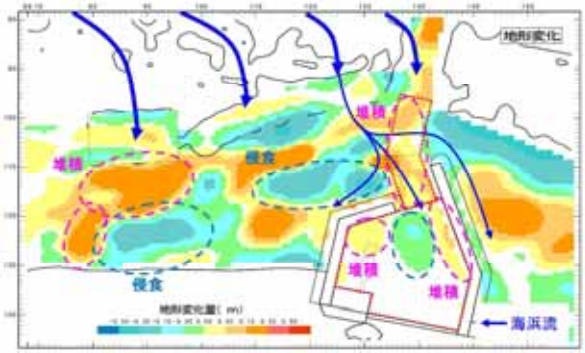

図-9　第 3 案の 3 次元海浜計算の結果

5.おわりに

図-10 に採用された施設配置計画のパースを示す。

図-10　整備後のイメージパース

今後、本事業を成功させるためには、既存施設の財産処分手続き、漁業補償、港湾や海岸といった事業の垣根を越えた手続きが必要となるため、関係者が一体となって取り組む必要がある。

参考文献

1)(一社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説　(平成 30 年 5 月)